CAICT 中国信通院

车 联 网 白 皮 书

（网联自动驾驶分册）

中国信息通信研究院

2020 年 12 月

版权声明

前　言

车联网是汽车、电子、信息通信、交通运输和交通管理等行业深度融合的新型产业形态，是 5G、人工智能等新一代信息通信技术在汽车、交通等行业应用的重要体现。自动驾驶是汽车智能化、网联化发展的核心应用，也是车联网部署发展的核心服务。我国在车联网技术创新、应用实践、产业生态构建等方面已经走在了世界前列，将有利于探索实现一条具有我国特色的网联自动驾驶发展路径。

本文聚焦车联网支持实现自动驾驶应用，从“协同感知、协同决策、协同控制”等不同环节，重点研究分析网联需求、典型应用场景、体系架构和核心关键技术。在此基础上，总结提炼网联自动驾驶发展面临的挑战，包括技术融合、基础设施建设以及商业运营等方面。最终以协同发展总结全文，希望我国能抓住难得的历史发展机遇，坚持网联自动驾驶的协同发展路径，影响形成全球广泛认同。

目 录

图 目 录

表 目 录

一、网联自动驾驶的内涵

自动驾驶是车辆作为运载工具智能化、网联化发展的核心应用，也是车联网、智慧交通产业发展的核心应用服务。在技术层面上，当前存在着单车智能自动驾驶和网联自动驾驶两种不同的实现路径。

单车智能自动驾驶主要依靠车辆自身的视觉、毫米波雷达、激光雷达等传感器进行环境感知、计算决策和控制执行。环境感知通过车载传感器完成对周围环境的探测以及定位功能。计算决策一方面将传感器数据进行分析处理，实现对目标的识别；另一方面进行行为预测和全局路径规划、局部路径规划和即时动作规划，决定车辆当前及未来的运动轨迹。控制执行主要包括车辆的运动控制以及人机交互，决定每个执行器如电机、油门、刹车等控制信号。目前单车智能自动驾驶在环境感知、计算决策和控制执行的多个环节均存在不同程度的技术瓶颈，在应用过程中也出现了各种失效的问题，因此一方面需要不断地加强单车智能的感知、决策和控制能力；另一方面也希望引入不同的技术手段来进行弥补。

网联自动驾驶是在现有单车智能自动驾驶的基础上，旨在通过车联网将“人-车-路-云”交通参与要素有机地联系在一起，拓展和助力单车智能自动驾驶在环境感知、计算决策和控制执行等方面的能力升级，加速自动驾驶应用成熟。在环境感知环节进行协同，支持车辆获得比单车智能感知更多的信息，例如非视距感知或解决容易受恶劣环境影响等问题；在计算决策环节进行协同，增加车与车、车与路之间

的系统性决策，例如解决车辆优先级管理、交通路口优化控制等情况；在控制执行环节进行协同，对车辆驾驶行为进行干预，例如远程遥控车辆脱困等。与此同时，网联自动驾驶的发展还将带动“人-车-路-云”协同车联网新型基础设施体系的建设与完善，助力 5G、人工智能等信息通信技术在垂直行业的应用推广，促进实现汽车和交通服务的新模式新业态发展。

二、网联自动驾驶的需求及典型应用

（一）单车智能自动驾驶发展现状

1.单车智能自动驾驶应用尚未成熟

按照美国汽车工程师学会（SAE）划分的 L0-L5 的自动驾驶等级来看，目前单车智能自动驾驶正处于 L2-L3 等级的落地发展阶段，市场渗透率和应用规模仍然较小，先进辅助驾驶系统功能（Advanced Driver Assistance Systems，ADAS）仍然是主力。高工智能汽车研究院《2020 年 1-2 月乘用车新车上险量 ADAS 市场数据报告》提出，国内自主及合资品牌上线新车 ADAS 搭载率为 28.15%。《智能网联汽车技术路线图 2.0》提出，到 2025 年，L2 和 L3 相当的部分自动驾驶（PA）和有条件的自动驾驶（CA）的汽车销量占比将超过 50%，高度自动驾驶（HA，相当于 L4）开始进入市场。从各个汽车企业的研发进度上看，2018 年宝马、沃尔沃、奥迪、通用等相继推出 L2 级自动驾驶应用；2020-2022 年是各车企计划推出 L3 级自动驾驶汽车的

时间，但目前仅出现了一批 L2.5、L2.99 等自动驾驶的概念性应用，一方面受限于 L3 级自动驾驶汽车上路的法律法规完善，另一方面受限于技术实现。综合分析，从技术的发展上看，目前单车智能自动驾驶的技术实现能力为 L2-L3，但受到场景的局限，例如需要在高速公路、道路标识规范清晰的城市主干道路等；从产业应用的落地上看，L2 及以下的 ADAS 应用仍然保持一个较低的渗透水平，L3 及以上自动驾驶应用仍以试验和区域性示范为主，L4 及以上更高等级自动驾驶应用则需要更长的时间。

2.单车智能自动驾驶仍面临诸多风险

目前已经商用量产的很多 ADAS 功能仍存在特定场景下应对能力不足和失效的风险。以自动紧急刹车为例，2019 年美国汽车协会（AAA）对雪佛兰迈锐宝 XL、本田雅阁、特斯拉 Model 3 和丰田凯美瑞等进行了测试，发现一方面是在夜间或儿童穿梭等场景下车辆的应对能力不足，大部分车型均发生了碰撞现象；另一方面是在下雨天的打伞、雨衣、隧道等场景较容易引起失效。现有已经商用的 ADAS 功能尚无法应对复杂的交通状况或恶劣的天气条件，感知能力的不足仍是主要原因。但在驾驶员负责整个驾驶过程的条件下，L2 及以下的 ADAS 应用功能已经具备商用落地的条件。

在高等级自动驾驶路测方面，自动驾驶的可靠性和应对挑战性交通场景的能力仍有待提升。从 2019 年度美国加州的自动驾驶脱离报告《Autonomous Vehicle Disengagement Reports》来看，36 家企业进

行了自动驾驶测试，谷歌 Waymo 以 234 万公里测试里程遥遥领先，其每 21273 公里出现一次脱离接管，但相比较下苹果则每 189 公里就要出现一次脱离接管。从脱离接管的原因来看，软硬件系统性能的可靠性几乎是每个测试企业面临的共性问题；此外，对突然出现目标的感知能力不足、目标运动行为的预测能力不足、决策时间超时和错误的轨迹生成、交通信息标识识别的错误等也是主要问题。

此外，已经商用的部分自动驾驶车辆也出现了各类别的事故，存在感知失效、预测和决策失效等原因。2018 年 1 月，美国洛杉矶一辆 Model S 因跟随车辆突然变道而没有及时检测到前方停止的消防车，未能及时刹车/减速而造成事故，引发其感知失效的讨论。2016 年 2 月，美国加州的一辆雷克萨斯车辆感知到后侧有公交车准备通过，但经过判断路面并没有足够的空间让公交车通过，便假定公交车驾驶员会减速，而公交车驾驶员判断雷克萨斯会礼让，因此发生碰撞，显示了单车智能自动驾驶在这种“博弈”的驾驶条件下很难准确判断周边交通参与主体的意图，提出了协同决策的挑战。

（二）单车智能自动驾驶挑战和网联需求

1.环境感知的挑战和网联需求

目前，单车智能自动驾驶的技术解决方案，视觉传感器、激光雷达、毫米波雷达以及红外夜视、超声波等成熟的传感器是主要的产品组成。各类别传感器的标称技术指标持续稳步发展，不断满足自动驾驶需求，逐渐接近人类驾驶员的感知能力，甚至在部分技术能力上实

现了超越，例如探测距离 200 米以上、综合精度能够达到厘米级甚至毫米级等。但是各类传感器的可靠性，以及对突发事件的响应能力上仍然存在不足。一方面，**容易受到遮挡、恶劣天气等环境条件影响，如十字交叉路口、隧道出入口等**。网联化通过车路协同、车车协同，能够极大地拓展单车的感知范围，并且不受遮挡限制，能够让单车提早发现未知状况，能够应对目标突然驶入等目前在自动驾驶测试和事故中难以应对的状况。此外，**单车智能自动驾驶在目标预测、驾驶意图“博弈”等方面存在困难**。网联化能够直接给出关键结果状态信息，例如信号灯状态、周边车辆的下一步动作意图、当前路况下最佳的行驶路线等，减少了复杂的基于传感信息的计算处理过程，并且能够准确地了解周围交通参与者的意图。

2.计算决策的挑战和网联需求

计算决策主要实现的功能可以分为两类，一是对环境感知数据进行目标识别，深度神经网络是目前在感知中使用最多的方式，也是目前对算力消耗需求最大的计算任务；二是针对感知的结果以及车辆的行驶任务，给出行驶路线、车辆动作的决策规划。在硬件上，计算决策主要承载在基于 CPU、GPU、DSP、AI 芯片、MCU 等多核异构分布的计算处理平台上。**算力和功耗之间的矛盾是目前单车智能自动驾驶计算处理平台遇到的重要瓶颈**。同时，由于交通行为更多是众多参与者之间互相“博弈”，**在路径动作的决策规划环节，单车智能自动驾驶难以给出最佳的解决方案**。

网联化有望分担单车的算力消耗，基于云控平台给出全局最优的驾驶策略。在算力方面，一是网联化作为“超级传感器”能够直接给出感知的目标结果，省去了复杂的对传感器信号的计算分析过程，如红绿灯的判断，从而大大减轻了单车的算力需求；二是能够借助云计算、边缘计算等能力，有望将路侧的算力引入，例如在路侧安装视觉传感器、激光雷达等传感器，将路侧感知结果进行下发等。在驾驶策略方面，在特定场景下，网联化能够集中采集其范围内的交通参与主体，根据所有主体的目的和状态，给出全局最优的解决方案，无需再通过“试探”和“博弈”给出决策规划，在矿山、港口、物流等非公共开放道路的特定场景下已经得到验证应用。

3.控制执行的挑战和网联需求

单车智能自动驾驶的控制执行主要根据计算决策给出的动作命令，通过车辆的动力学模型和人机交互界面，给到电机、油门、刹车等执行机构。在控制执行方面，考虑自动驾驶系统和人类驾驶之间的协同处理以及车辆控制的可靠性、安全性，**控制系统的冗余备份、高实时响应是主要的技术需求**。网联化在控制执行方面能够提供远程遥控驾驶、协同驾驶的应用模式。例如在某些危险或不适合人类进入的场合，需要通过 5G 远程遥控驾驶来操作远端的车辆进行作业，目前在无人矿山等场合下已得到应用。在车辆编队行驶等方面，借助头车和后排车辆的控制执行信息交互，后排车辆能够按照头车的统一命令进行驾驶，减轻后排车辆的感知计算任务负载。网联化能够将车辆的

控制和执行从单车上分开，助力打造一批创新性的应用模式。

（三）网联自动驾驶的典型应用

在单车智能自动驾驶基础上，引入网联化技术，使得更多协作式的自动驾驶应用得以实现。从典型工况和协同环节两个维度进行考虑，可以将网联自动驾驶的应用场景划分为一个矩阵。典型工况包括各类路口、高速公路、隧道、停车场所、矿山/港口等相对结构化的道路环境，以及通用工况环境。协同环节则包括协同感知、协同决策和协同控制三个部分。

表 1 网联自动驾驶的典型应用场景

	协同感知	协同决策	协同控制
通用工况	高精地图 全天候路况感知 路标信息 超视距&盲区感知	交通流量 车辆状态 道路状态	协作自适应巡航 柔性车道管控 协作汇入汇出 可变限速控制
各类路口	路口车辆信息 信号灯信息 VRU&混合交通主体辨识及预警	全局路径规划 绿波车速引导 驾驶意图判定 交叉口诱导	路口协同通行 信号灯优化控制 远程接管 闸机信号交互
高速公路			远程接管 远程平行驾驶 网联编队驾驶
隧道	隧道内高精地图及定位	临时设施/障碍 隧道设施	
停车场	场内高精地图&定位 空闲车位信息	空闲车位分配 车位路径引导	全自动代客泊车（半封闭场景 L4）
矿山/港口	封闭固定区域内 L4		

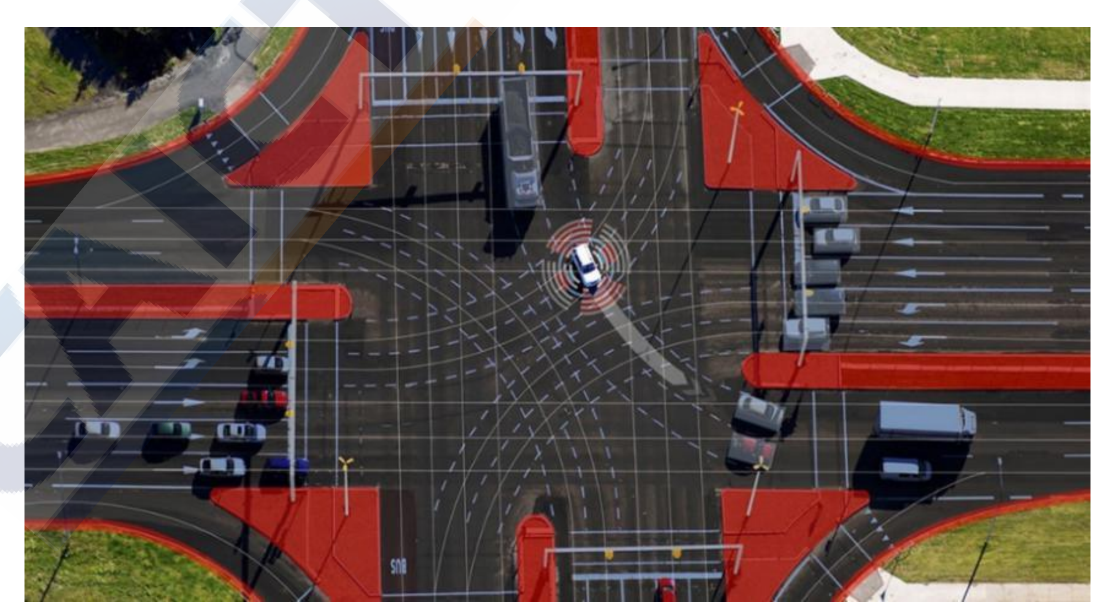
来源：中国信息通信研究院

不同应用场景对网联的依赖程度可分两类，一是需要网联才能在

全工况环境下实现的应用场景。比如信号灯、标识标牌等信息获取，在能见度低的雨雪雾天气中，单车感知设备将难以准确识别，通过车与路侧相应交通基础设施的联网通信才能获取上述信息；不仅如此，信号灯等信息的数字化更是为其增加了动态调整的可能性，使潮汐车道、动态限速等场景更容易实现。其次，盲区的感知，单车所能搭载的摄像头和激光雷达都存在物理极限，一些路侧感知设备的部署则可以轻松解决单车视觉上的盲区，并且可以将远方的动态交通事件信息、道路信息等发送给车辆。再者，群体智能，基于交通信息的全局路径规划需要一个基于云端的强大决策平台，并将规划结果下发给区域内的车辆，这是单车智能所不能实现的，并且可以通过网联实现对于异常车辆的远程监控和接管介入。**二是通过网联实现将更具经济性的应用场景**。此类场景单车在技术上也可行，然而实现代价过于繁琐高昂，不利于应用的快速普及。比如十字交叉路口等典型城市工况环境，在对于混合交通主体的识别过程中，单车需要付出极大的感知和计算开销，而通过路侧感知、计算、通信等设备的部署，可以达到资源复用的规模化效应。再如隧道、停车场等封闭场所的定位，配合路侧通信设备、蜂窝通信基站、边缘计算服务器等的支持，在达到同样精准度的情况下，可以很大程度上降低单车惯性导航、雷达等一系列复杂融合感知算法的开销。

目前，网联自动驾驶的相关应用场景也已经陆续在国内外开展应用示范验证和部署。港口、矿山、物流园区等封闭场景成为各地率先部署商用车 L4 自动驾驶的示范区。2019 年 11 月，由上汽集团、上

港集团、中国移动合作打造的上海洋山港智能重卡示范运营项目，在洋山港物流园、东海大桥、洋山一期码头内，实现集装箱智能转运，是国际上首次实现 5G+自动驾驶重卡商业化落地。5G 远程遥控驾驶与单车智能自动驾驶的结合，可以解决自动驾驶算法出现故障等原因导致的人工接管的情况。博世、梅赛德斯奔驰、诺基亚等合作伙伴，在德国乌尔姆市示范基于智慧基础设施和边缘计算的不停车汇入，如下图 1 所示。项目建设方在道路灯杆上安装摄像头、激光雷达、路侧通信设备和 MEC 边缘计算服务器，拓展车辆感知范围，解决车辆自身感知设备的视觉识别盲区，如被卡车遮挡的行人、从盲区驶来的车辆、从后方靠近并变道的自行车。系统能将路端传感器采集到的图像数据，与车辆传感器采集到的数据相结合，在边缘算力支持下，与高精度地图结合，可生成包含当前路况全部信息的车辆周围环境模型，并通过网联技术传输给车辆。项目实施后，自动驾驶车辆可以精确地发现主干道上的车流间隙，无需刹停即可无缝汇入主干道车流。



数据来源：博世

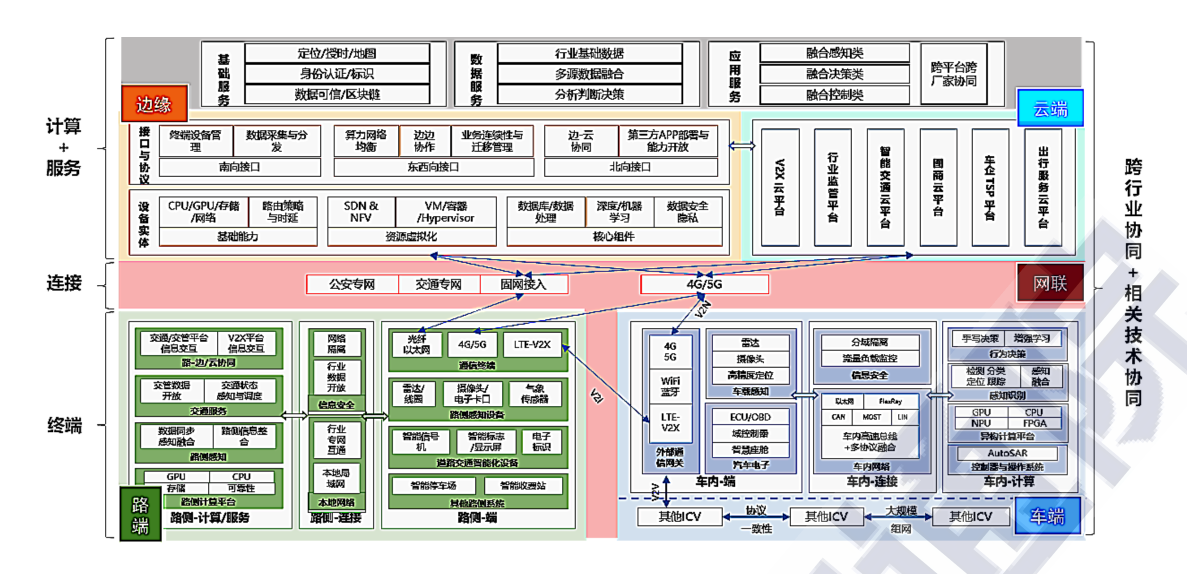
图 1　基于智慧基础设施和边缘计算的不停车汇入

三、网联自动驾驶的技术体系架构

（一）网联自动驾驶的技术体系视图

1.全局视图下的网联自动驾驶技术体系

网联自动驾驶的体系架构可以按照“终端”“连接”“计算与服务”三个维度来进行解构，如下图 2 所示。网联自动驾驶技术体系的“终端”包含智能网联汽车和路侧智能化系统这两个广义终端。“连接”是实现“人-车-路-云”相互连通的各类通信技术，按照网络类型可分为公众电信网、公安专网、交通专网等，按照网络技术可分为移动通信网络、光纤接入网等。“计算与服务”承载着网联自动驾驶各类服务的数据支撑与应用实现能力，从物理实体上包括边缘计算平台与云平台；从业务逻辑上包含数据底座、开放接口、应用服务等；从服务功能上包括以红绿灯信息推送、盲区感知、隧道高精度定位为代表的协同感知类应用，全局路径规划、车辆编队行驶等协同决策类应用，5G 远程遥控驾驶等协同控制类应用，以及高精度地图下载、OTA 升级等数据支撑业务等。



来源：中国信息通信研究院

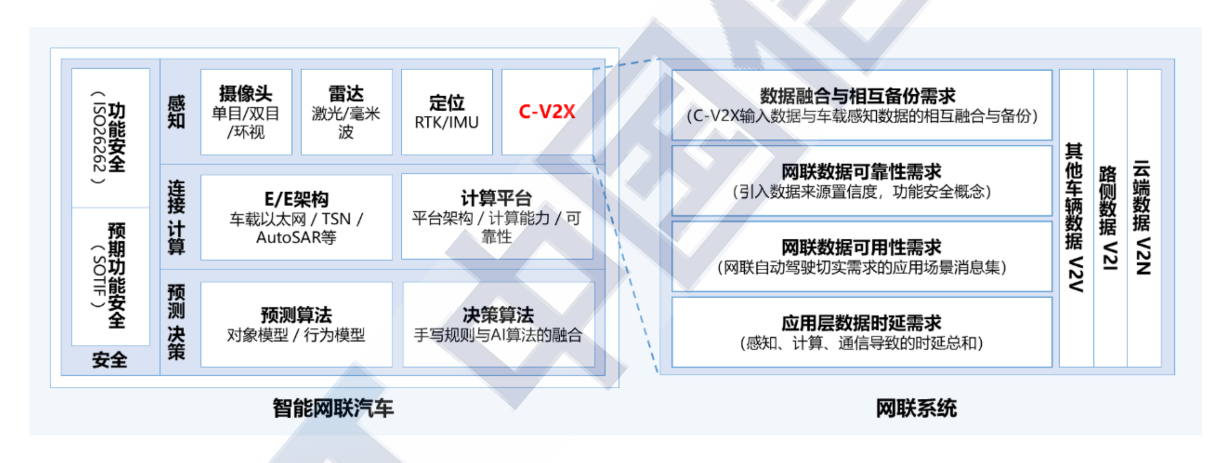
图 2　网联自动驾驶的体系架构

智能网联汽车和路侧智能化系统可以看作两个系统级“终端，可以被进一步解构为 “终端”“连接”“计算与服务”等若干子类。智能网联汽车内部的“终端”包含车载通信网关、车载感知设备，以及智慧座舱、域控制器等汽车电子系统；“连接”主要是车内高速总线与多协议车内通信技术融合；“计算与服务”涉及异构计算平台、车载操作系统、感知识别与行为决策算法等。路侧智能化系统的“终端”主要有路侧通信终端、路侧感知设备、道路交通智能化设备等；“连接”主要以交通、公安等专网或本地局域网为主；“计算与服务”主要包含路侧边缘计算系统、路侧感知与服务能力、路-云协同等。

在这种系统整体结构分解的思路中，“终端”是载体，“连接”是途径，“计算”是手段，“服务”是目的，“人-车-路-云”各个环节的关键技术深度协同，形成了统一融合的网联自动驾驶技术体系架构。

2.智能网联汽车视角下的网联自动驾驶技术体系

在智能网联汽车视角下，结合全局视角技术体系的解构思路，网联自动驾驶按照技术环节可分为感知、连接、计算与服务，其中网联系统是与雷达、摄像头、定位等并列的一种感知技术，车内电子电气架构（E/E）、车载计算平台归属于连接和计算的范畴，服务主要是与自动驾驶有关的预测和决策等，如下图 3 所示。在智能网联汽车视角下，车辆的安全是非常重要的技术环节，需要遵循相应的功能安全体系（ISO 26262），以及预期功能安全体系（SOTIF）。



来源：中国信息通信研究院

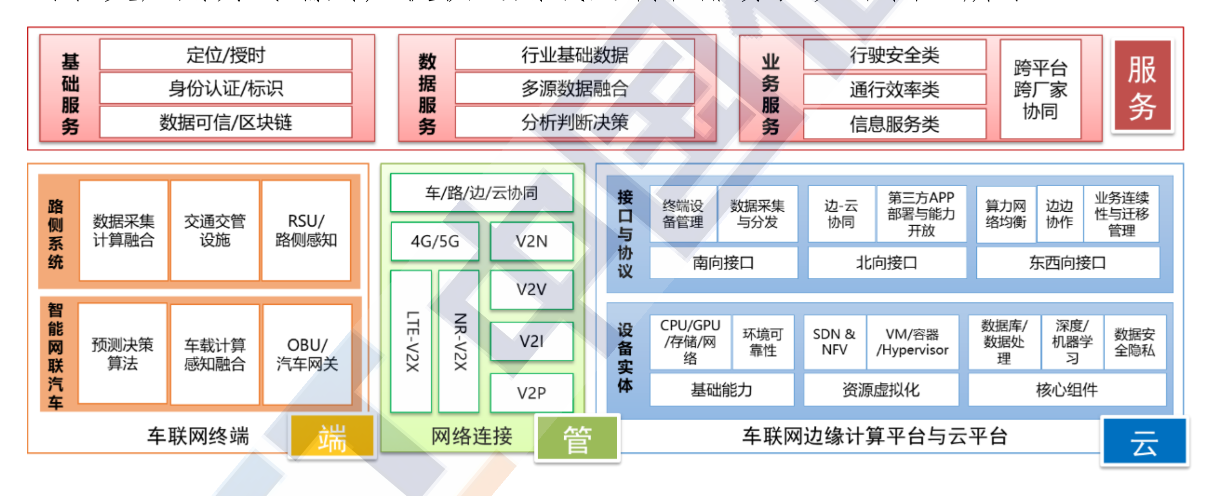
图 3　智能网联汽车视角下的网联自动驾驶技术体系

在智能网联汽车视角下，自动驾驶对以 C-V2X 为代表的网联系统提出了诸多要求，包括应用时延、消息集的可用性、消息内数据的可靠性、消息与车内感知的相互备份性等。该视角特点可总结为：（1）网联系统将作为车辆感知系统的一部分，可提供车辆盲区信息、超视距信息、交管信息等传统车载传感器无法直接提供的信息；（2）自动驾驶对于网联系统相关的功能安全、预期功能安全体系非常关切，有待进一步研究并形成跨行业共识；（3）自动驾驶对典型应用场景的消

息集标准化需求强烈，有必要推动形成消息集持续演进机制，支撑网联自动驾驶基础设施广泛部署。

3.信息通信视角下的网联自动驾驶技术体系

在信息通信视角下，网联自动驾驶遵循“端-管-云-业务”的典型信息通信体系架构，一方面，无论是车载、路侧系统的各类终端，都是网络内的车联网终端用户；另一方面，各类终端通过 C-V2X/5G 等移动通信网络或光纤接入网络接入到边缘计算平台或云平台，平台上的各类应用为终端用户提供通用或定制化服务，如下图 4 所示。



来源：中国信息通信研究院

图 4　信息通信视角下的网联自动驾驶技术体系

在信息通信视角下，一方面终端是网络服务的主体，需要为终端业务需求针对性地调整网络能力或者服务特点；另一方面对终端对于网络或服务的匹配性提出了明确要求，例如工作频率要求、射频一致性、通信协议一致性、数据集一致性等。该视角特点可总结为：（1）网联自动驾驶系统遵循“端-管-云-业务”架构，各环节主体需要受到频段许可以及电信业务资质等 ICT 领域政策法规的监管；（2）ICT 企

业希望自动驾驶企业对应用、网络、服务等提出需求，在此基础上开展管、云、服务方面的系统研发与部署；（3）ICT 企业可针对自动驾驶应用提供“标准+定制”服务，但如何明确并提供网联数据可靠性或置信度仍需进一步研究。

4.交通与交管视角下的网联自动驾驶技术体系

在交通与交管视角下，车联网与智慧交通系统按照业务类型垂直分类，网联自动驾驶可视作涉及到多个传统业务类型增强与融合的新兴业务系统，例如在传统的交通信号智能控制系统基础上增加了数据开放与广播，在交通标志标线、车辆超速预警、典型违法预警系统等基础上增加了信息融合与实时播发功能等，如下图 5 所示。

业务应用
交通标志标线系统
交通信号智能控制系统
视频监控与分析系统
典型违法预警系统
交通诱导信息发布系统
车道控制与预警系统
道路交通事件智检系统
车辆超速预警系统
智能停车管理系统
智慧公路基础设施识别系统
智能车辆电子标识系统
道路交通综合运管系统

支撑平台
数据处理层
数据安全
数据存储
大数据计算
数据管理
数据支撑
数据采集层
结构化数据
非结构化数据
实时热数据
非实时冷数据
数据接入层
感知设备数据接入
信号适配
诱导信息适配
视频适配
流量采集
V2X信息采集与发布

感知发布
智能标志标线
智慧路贴/流量感知
监控/雷达/电子警察
诱导屏/信息提示屏
智能信号机
路侧计算
C-V2X RSU

道路
交通运行状态
交通微观行为
交通气候状态

车
车辆状态
车辆驾驶行为
车辆驾驶意图

来源：中国信息通信研究院

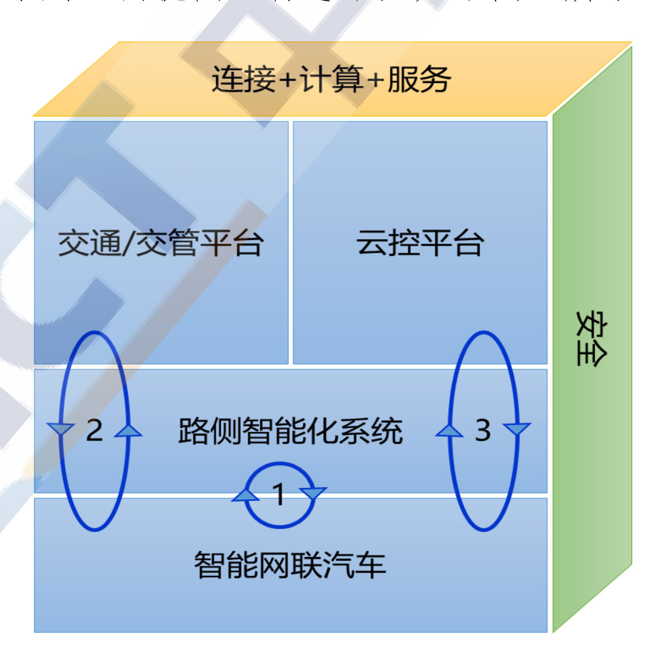
图 5　交通与交管视角下的网联自动驾驶技术体系

在交通与交管视角下，各类业务应用需要道路侧智能化设备与基础数据平台的支撑。对于网联自动驾驶来说，需要在路侧智能化设备和基础数据平台方面增加新的实体和功能，包括新增 C-V2X 路侧通信单元、新增路侧感知计算融合系统、部署 V2X 信息的采集与发布

功能等，实现网联系统与传统智能交通系统的融合演进。交通与交管视角的特点可总结为：（1）交通与交管系统按照“感知-传输-计算-应用”的层级来设计，以 C-V2X 为代表的网联系统建设与交通新基建融合发展已形成行业共识；（2）C-V2X 等网联功能作为一种新型感知发布方式，可以使交通与交管系统增强与智能网联汽车的交互，促进交通与交管业务从路端向车端延伸；（3）交通与交管行业需要基于现有智能交通业务提炼网联自动驾驶所需服务，与现有系统融合演进、并通过 C-V2X 等网联系统与网联自动驾驶进行耦合。

5.网联自动驾驶技术体系的三向视图

为了更好地描述网联自动驾驶技术体系，本白皮书尝试将网联自动驾驶技术体系用三向视图进行总结，如下图 6 所示。



来源：中国信息通信研究院

图 6　网联自动驾驶技术体系的三向视图

正向视图展示了系统架构和信息流，根据业务类型的不同，信息

流可以分为三种类型。一是车路信息流，路侧智能化系统为智能网联汽车提供超视距感知信息、道路信息、地理信息等；智能网联汽车向路侧智能化系统提供自身状态信息，用于路侧更全面地了解道路车辆状态，形成车路协同流闭环。二是面向交通治理的车路云信息流，交通与交管平台从路侧智能化系统及智能网联汽车获取车辆行驶信息，用于分析和形成宏观或微观交通状态，并将交通控制、管理、诱导等信息发送至智能网联汽车，促进改善交通环境，形成智慧交通信息流闭环。三是面向网联自动驾驶的车路云信息流，智能网联汽车和路侧智能化系统将感知信息与道路状态信息上传至云控平台，云控平台将适用于自动驾驶的融合感知与决策信息下发至智能网联汽车，形成网联自动驾驶信息流闭环。

顶向视图展示了关键技术的逻辑架构，信息通信、交通、汽车等各行业对于“终端”“计算”“连接与服务”的技术逻辑划分基本达成共识，但不同行业对于此种逻辑划分有不同的关注重点。汽车行业更关注智能网联汽车内部系统，同时关注云控平台上自动驾驶应用服务的实现。通信行业更关注车路云之间的连接与服务，以及边-云端的MEC、数据中心、云计算、人工智能等关键技术。路侧智能化系统需要信息通信、交通、交管等跨行业协同，其中交管行业的责权界面相对明晰，信息通信行业和交通行业在路侧系统建设运营方面的合作模式还有待进一步探索；应用平台方面，信息通信、交通、交管、汽车等各行业仍存在平台间数据集不统一、互联互通困难等待解决的问题。

侧向视图展示了系统安全视图，包含网联自动驾驶功能安全与信

息安全两部分安全体系。功能安全既包括汽车传统的功能安全体系，也包括自动驾驶汽车的预期功能安全体系，以及未来路侧设备、云端服务的预期功能安全。信息安全包括了网络安全、身份认证等关键技术体系，其中身份认证体系一方面需要明确管理机制，考虑建立跨行业、跨地域协同管理模式，共同维护协同互认的数字身份信任关系。

（二）网联自动驾驶的协同关键技术

1.车载视觉感知关键技术

车载视觉摄像头成为近年汽车 ADAS 市场需求增长最快的传感器。按照摄像头安装位置和功能的差异，可以分为前视、环视、侧视、后视以及内视等。前视摄像头主要用于车辆和行人探测、交通标志识别、车道偏离警告、车距监测以及自适应巡航控制等，通常需要搭配复杂的算法芯片。环视摄像头主要用于全景泊车和车道偏离警告，侧视摄像头可用于盲点检测，后视摄像头用于倒车辅助，内视摄像头用于疲劳驾驶预警和情绪识别等。当前车载摄像头主要以 720P、1080P 分辨率为主，空间分辨率已经与人眼接近，而感知距离通常为 200m，与人类肉眼可感距离（500+m）仍存在差距。逆光、图像动态范围是当前影响视觉传感器可靠性的主要挑战。

视觉感知技术将传感器的输入数据转换成计算机能够理解的场景语义表达和物体结构化表达，包括物体检测、识别和跟踪、3D 环境建模、物体的运动估计等。车辆在运行过程中，通过高清摄像头的不间断采集，实现对环境信息的实时感知，随着自动驾驶等级的提升，

必然引发像素需求与芯片计算能力之间的平衡问题。

2.车载激光雷达感知关键技术

车载激光雷达以避障应用为主，将走向 3D 点云识别及定位。车载激光雷达是目前车载环境感知精度最高的感知方式，探测距离可达 300m，精度可控制在厘米级。机械式激光雷达因其抗光干扰能力强、信噪比高等优点成为前期主要的激光雷达形态，长远来看 MEMS、3D Flash 等固态激光雷达有望成为重点，相控阵 OPA 技术方案仍然需要较长的技术研发周期。目前限制激光雷达量产商用的主要制约因素为可靠性和成本。

3.车载毫米波雷达感知关键技术

车载毫米波雷达的技术最为成熟、鲁棒性最高，可以探测车辆与目标物体之间的距离，主要用于碰撞预警、自动巡航、制动辅助和泊车辅助等功能。目前，车载毫米波雷达的频率多采用 24GHz 频段和 77GHz 频段。24GHz 的技术难度和成本较低，适用于测量中短距离物体，占据了目前毫米波雷达的主要应用市场。77GHz 的毫米波雷达具有体积更小、测量距离更远、测量精度更高等优点，适用于测量长距离物体，77GHz 等高频段毫米波雷达产品目前以国外产品为主。随着技术的成熟，3D、高空间分辨率的毫米波雷达成为未来趋势，理论上有可能替代激光雷达。

4.感知融合关键技术

多传感器融合成为提升感知可靠性的主要手段。不同的传感器在感知精度、鲁棒性、可靠性上各有不同，因此适用于不同环境、不同物体的感知测量。结合激光雷达、毫米波雷达和视觉的传感器融合技术，可获得更高精度的3D信息，并且通过不同信息的互补、交叉验证，将语义感知的准确性提升数个数量级。目前，存在着视觉主导和激光主导两种不同的感知融合方案，视觉主导方案的采用者以特斯拉为代表，激光主导方案的采用者以谷歌为代表。毫米波雷达凭借优秀的抗干扰性能，成为摄像头和激光雷达的重要补充。在技术路线上，多传感器融合感知主要有数据级的前向融合和特征级的后向融合两种。数据级的前向融合是指将不同传感器的采集信息在原始数据层融合，该方案多用于学术研究，对算力、传感器可靠性要求极高，鲁棒性较差。基于特征级的后向融合方案是通过对单个传感器进行特征提取，再将有限特征信息进行融合优化，该方案是当前工程实现的主流，但需要解决不同传感器置信度、传感器噪声等问题。

5.网联无线通信（C-V2X）关键技术

国际标准组织3GPP定义了基于LTE移动通信技术演进形成的LTE-V2X、5G及5G V2X标准化技术。LTE-V2X于2017年3月完成标准化，引入了工作在5.9GHz频段的直通链路（PC5接口）通信方式。 2020年7月，3GPP宣布R16 NR-V2X版本冻结，引入了单播和组播模式、HARQ反馈、CSI测量上报、NR/LTE基站调度LTE-

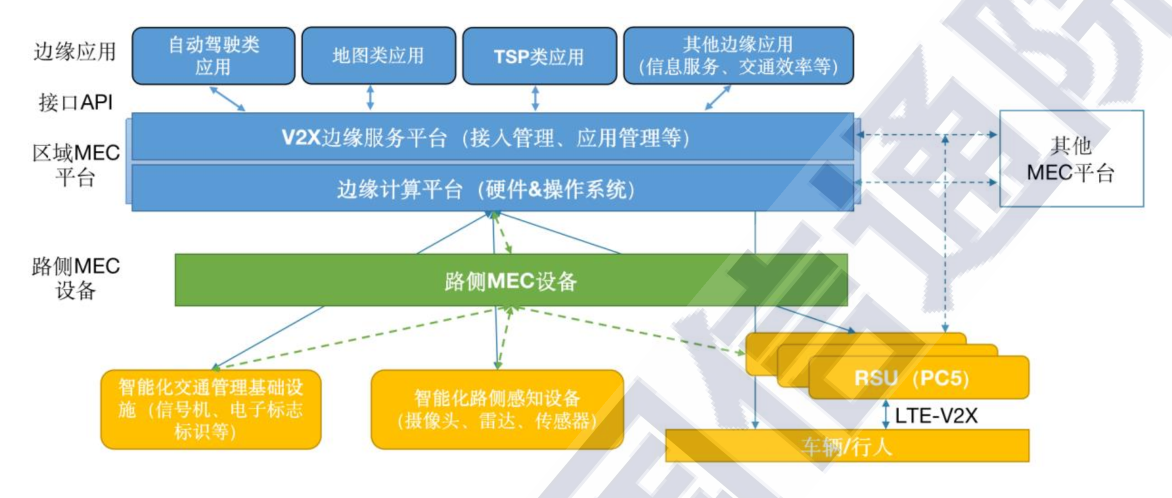
V2X/NR-V2X 资源、NR-V2X 与 LTE-V2X 共存等新技术特性，支持高阶调制和空间复用并优化了资源选择机制。3GPP 于 2020 年第 3 季度启动 R17 相关的标准化工作。国内在国家制造强国建设领导小组车联网产业发展专委会指导下，聚焦 C-V2X 领域，汽标委、ITS 标委会、通标委、交标委加快开展急需、重要标准制定。通标委基本完成了 LTE-V2X 总体架构、空中接口、网络层、消息层、通信安全等基础支撑和互联互通相关技术标准和测试规范的制定。汽标委、ITS 标委会和交标委正在分别制定 LTE-V2X 相关应用标准，促进 LTE-V2X 技术在汽车驾驶服务、交通基础设施以及交通管理方面的实际应用。

依托国内良好的产业环境，基于 LTE-V2X 的芯片模组、OBU、RSU 等核心设备均具备了实际商用能力，且配套的端到端产业链已经建立。作为国家重要发展战略，国内 5G NR（Uu）基础设施的建设也已经初具规模。从目前产业研发重点以及后续产品规划来看，LTE-V2X 与 5G NR（Uu）多模终端设备是未来研发及量产落地的重点，NR-V2X 直连通信技术的产业化尚需一定时日。在城市环境下，车联网基础设施建设正处于重点地区从测试示范走向先导性应用、全国各地普遍部署的关键时期。在高速公路环境下，各方也积极推进车联网、智能交通系统等相关基础设施建设，构建车路协同服务与管理体系，相关车路协同高速公路示范项目已部分建设或规划车联网基础设施。

6.多接入边缘计算（MEC）关键技术

多接入边缘计算（MEC）与以 C-V2X 为代表的网联技术深度融

合，可支撑实现网联自动驾驶的多类应用场景。MEC 与 C-V2X 融合系统可采用多层系统架构，通常包括路侧 MEC 设备以及区域 MEC 平台，如下图 7 所示。两类 MEC 相对独立，并可根据应用场景对于边缘计算的不同需求而灵活组合形成“标准+定制化”的解决方案。



来源：中国信息通信研究院

图 7　MEC 与 C-V2X 融合系统的多层系统架构

路侧 MEC 设备具备部署灵活的特点，可结合直连通信模式在局域范围内形成业务闭环，适合在重点位置高密度部署，实现更全面的融合感知能力和一定的融合决策能力。区域 MEC 平台可为更大范围的用户提供强大的计算、存储能力，同时具有路由、分流等功能，可通过蜂窝通信模式与 5G 网络紧密结合，支持更高的无线传输速率，实现更精准的融合决策和融合控制能力。

中国通信标准化协会立项了面向 C-V2X 业务的 MEC 系列标准，从需求与架构、服务能力与开放接口、跨域协同等方面开展标准化工作，力争形成标准的 MEC 平台南北向数据集以及用户移动切换的跨域协同机制，推动 MEC 支持网联自动驾驶应用方案的成熟。下一阶段，MEC 算力网络与存储网络的动态均衡技术、路侧 MEC 设备及区

域 MEC 平台的评测方法等将成为行业内研究的重点。

2019 年 9 月，IMT-2020（5G）推进组支持创建了第一批 10 个 MEC 与 C-V2X 融合测试床。中国电信、中国移动等电信运营商，大唐移动、中兴等设备商，重庆车检院、上海淞泓、湘江智能等检测与运营方，华人运通、滴滴、启迪云控等自动驾驶提供方均牵头参与了测试床建设。从测试床中的 MEC 类型来看，8 个测试床建设了区域 MEC 平台，所有 10 个测试床项目都规划建设路侧 MEC 设备。从测试床功能来看，所有测试床均规划了面向网联自动驾驶的融合感知功能，5 个测试床项目设计了面向自动驾驶的决策或控制功能。当前，苏州、北京、重庆、上海等地的多个测试床项目取得了显著进展，基于 MEC 的路侧数据融合处理、远程遥控驾驶等功能得到充分验证。

四、网联自动驾驶的挑战

网联自动驾驶已成为我国发展高等级自动驾驶的明确技术主线，“网联”是加强路侧基础设施对车端赋能的“管道”，也是推动“聪明的车”与“智慧的路”深度融合的支撑性技术。但是从技术和产业发展的成熟度来看，网联深度支撑自动驾驶仍然面临**技术融合、基础设施建设、以及商业运营模式**等方面的困难和挑战。

网联深度协同的技术体系仍需完善，路侧基础设施尚未建立起功能安全等级等概念。一是路侧消息采信机制难以建立。当前，整车厂、零部件厂商及互联网企业普遍认为路侧信源只能与车载传感器同等对待，即自动驾驶车辆无法对外部信息直接采信，仍需以车载传感器

结合路侧信息输入，进行融合感知判定，路侧传感器作为冗余信源，一定程度上可以解决共性原因失效的问题。未来或可通过在路侧消息中附加可靠性等级来保证消息的可信度，例如，戴姆勒提出在路侧传输信息或者认证信息中添加汽车安全完整性等级（ASIL）或安全完整性等级（SIL）信息以确保消息的可信等级。**二是传输信道可靠性难以保证。**网联自动驾驶需要 5G 网络提供大带宽、超高可靠低时延、广连接的通信环境，但无线信道质量往往受遮挡、散射、多径衰落等因素的影响较大，导致时延、丢包率等掣肘路侧消息传输可靠性的指标难以保证。**三是跨行业、跨地域数字身份认证尚未协同统一。**车与车、车与路的信任问题，是依托网联技术实现完全自动驾驶的必要条件，目前行业采用基于公钥基础设施（PKI）的数字身份认证机制，为车载通信设备、路侧通信设备发放合法的数字证书，实现通信过程的身份认证。从行业及地方管理角度来看，需要不同行业主管部门、不同地区建立协同统一的数字身份认证机制，维护协同互认的数字证书信任关系。**四是与车端相符的路侧功能安全界定尚不明确。**传统汽车企业对将网联化技术深度融入整车研发迭代的意愿尚存疑虑，关键在于路侧基础设施缺乏与车端相匹配的功能安全及预期功能安全体系，难以建立面向智能网联汽车的事故责任认定机制。基于车端功能安全及 SOTIF 的安全评价方法，积极探索路侧基础设施的功能等级要求及安全界定标准，或将推动车路协同深度融合。

基础设施建设规划尚未明晰，数据互通壁垒掣肘产业生态培育。一是参与主体多元化，建设运营模式尚不清晰。车联网跨行业、跨领

域的属性决定了产业参与主体多元化的特点，直接导致建设运营呈现碎片化状态。当前政府独资/合资企业、高速公路业主、运营商等参与主体在建设运营方面各具优劣势，但均面临运营模式不清晰的问题，未来车联网业务形态及商业模式仍需政府和产业界共同探索。**二是基建投资规模大，建设规划路径尚未明确。**网联自动驾驶依赖路侧基础设施覆盖率和车载终端渗透率跨越式提升，但路侧基础设施涉及种类多、行业分布广、投资规模大，存在投资回报不确定、安全责任风险等问题。当前部分城市或高速路段进行智能网联化改造，也存在缺乏统一的工程建设方案以及对交通整体的布局考虑。同时，车载终端渗透率、路侧设施建设密度较低，无法支撑全时空、全要素的道路交通信息感知，难以支撑各类自动驾驶应用的落地。**三是产业生态难建立，需打破数据互联互通壁垒。**各类基础设施隶属于不同建设主体，所采集数据分属于不同企业、不同主管部门，势必存在信息孤岛现象。实现设备互联、平台数据互通，一方面需要跨行业、跨部门统筹协同，打破行业平台管理壁垒；另一方面，亟待完善设备通信接口、系统平台接口、消息一致性等方面的标准化体系。

网联自动驾驶的商业运营模式仍处于设计探索阶段，配套政策法规亟待完善。一是缺乏面向公众服务的“杀手级”应用。网联应用逐步面向交通安全和效率类场景，通过预警类信息提示、车速/路径引导等方式提升交通通行效率，但乘用车用户对此类业务反应并不强烈，刚性需求不明。即使针对一些相对高价值网联应用，如信号灯信息推送、交叉口碰撞预警等，由于基础设施部署尚未达到城市级规模覆盖，

车载终端渗透率低，导致用户体验度降低。**二是配套政策法规尚需完善，掣肘示范应用向商业运营转化。**网联自动驾驶依赖高精度地图和定位的支撑，二者均会受到测绘相关法规的管理和约束，仍需进一步明确在地图加密偏转、众包测绘、原始 GPS 采集等环节的要求。此外，对于自动驾驶出租车、自主代客泊车（AVP）等商业模式相对清晰的场景，配套的安全、道路交通法规仍需完善。目前北京、上海、广州等城市纷纷开放了自动驾驶出租车的试运营区域，但与真正的商业化运营仍有差距。

五、网联自动驾驶的协同发展政策现状和展望

（一）美欧日等发达地区或国家持续布局自动驾驶

1.美国政府、产业在网联路径选择上存在差异性考虑

2020 年 3 月,美国交通部发布了《ITS 战略规划（2020-2025）》,更加关注自动驾驶与网络安全方面的研发。此外，交通部以政策手段为自动驾驶发展方向、资源整合、监管模式等方面提供政府的沟通渠道；另一方面以“豁免”为主要手段，为探索自动驾驶上路运营提供政策性保护,Nuro 在两年的测试期内获得了多达 5000 辆汽车的豁免。在网联协同方面，交通部一直鼓励企业使用 5.9GHz 来提升自动驾驶的能力，但是从企业发展自动驾驶的技术路线来看，目前还是以单车智能为主。由此也可以看出，自动驾驶是否借助于网联耦合发展与基础设施能力、企业能力和产业环境强相关。美国产业界以单车智能为

主进行自动驾驶研发与部署的原因：一是网联设施部署不足，影响自动驾驶效果；二是道路交通设施州际间的不统一，影响技术的跨州实施和互联互通性。

2.欧盟战略高度重视智能化和网联化的协同发展

欧盟以战略框架为指导，推动自动驾驶产业发展，高度重视车辆的智能化和网联化的协同发展。法律法规方面，一方面解决产业发展的障碍，另一方面以车企为核心力量，稳妥地推进自动驾驶落地应用。欧盟持续发布网联自动驾驶的战略规划，完善发展的路线图，目标是：2020 年通过云计算、IoT、大数据和 V2X 推动网联自动驾驶发展；2022 年网联自动驾驶实现与大数据可信平台开放数据交互；2025 年下一代 V2X 提升 L4 自动驾驶能力。德国在首都柏林推出自动驾驶实测路段，沿线安装了 100 余个传感器，实时采集道路交通状况信息，并同时发送到云端进行人工智能整合。在系统的配合下，自动驾驶车辆能够感知 400 米以内准备驶出的车辆并及时作出反应。

3.日韩布局基础设施建设，希望抢占商业化普及先机

日本政府从立法到政策上为自动驾驶商用铺平了道路。2019 年 5 月，日本通过《道路运输车辆法》修正案，并于 2020 年 4 月正式实施，目标是推动自动驾驶技术的商业化普及。日本政府原计划将 2020 奥运会视为展示日本技术领先性的重要契机。韩国政府早期注重单车智能，于 2019 年开始积极推进自动驾驶基础设施建设，封闭测试场

Kcity 实现了 5G 网络全覆盖，并计划在首尔建立全球首个基于 5G 网络的自动驾驶测试场。总体目标方面，韩国政府希望 2027 年建成相关的通信、精密地图、交通管制、道路等基础设施，要使自动驾驶汽车在全国主要道路上商用行驶。

（二）我国协同发展环境加速形成

1.协同发展政策体系不断完善

2020 年，政府各方积极加强顶层规范协同，营造产业发展良好环境。2020 年 2 月，国家发改委等十一部委联合发布《智能汽车创新发展战略》，围绕智能汽车发展明确提出构建先进完备的智能汽车基础设施体系，目标到 2025 年智能交通系统和智慧城市相关设施建设取得积极进展，车用无线通信网络（LTE-V2X 等）实现区域覆盖，新一代车用无线通信网络（5G-V2X）在部分城市、高速公路逐步开展应用，高精度时空基准服务网络实现全覆盖。2020 年 3 月，工业和信息化部印发《关于推动 5G 加快发展的通知》，提出促进“5G+车联网”协同发展。推动将车联网纳入国家新型信息基础设施建设工程，促进 LTE-V2X 规模部署。建设国家级车联网先导区，丰富应用场景，探索完善商业模式。结合 5G 商用部署，引导重点地区提前规划，加强跨部门协同，推动 5G、LTE-V2X 纳入智慧城市、智能交通建设的重要通信标准和协议。开展 5G-V2X 标准研制及研发验证。2020 年 4 月，国家发改委明确新型基础设施范围，包括智能交通基础设施等融合基础设施，其中车联网是传统交通基础设施智能化与网联化的重要保障。

2020 年 8 月，交通运输部印发《关于推动佳通运输领域新型基础设施的指导意见》，提出打造融合高效的智慧交通基础设施，完善行业创新基础设施，重点提到了助力 5G 等信息基础设施建设。2020 年 10 月，国务院办公厅正式印发《新能源汽车产业发展规划（2021—2035 年）》，明确将推动新能源汽车与能源、交通、信息通信全面深度融合。加快建设涵盖前端信息采集、边缘分布式计算、云端集中管控的新型智能交通管控系统。充分发挥蜂窝通信网络基础优势，以无线通信、定位导航等信息通信技术为支撑，推动车辆与道路交通、信息通信基础设施广泛互联和数据交互，为多级联动的自动驾驶控制决策和应用服务提供保障。协调推动智能路网设施建设。建设支持车路协同的无线通信网络。加快车用无线通信技术升级，不断满足高级别自动驾驶智能网联汽车应用。此外，相关部门针对地图测绘、智能网联汽车测试等相继制定相应规范，包括《测绘资质管理办法（征求意见稿）》《智能网联汽车道路测试与示范应用管理规范》（征求意见稿）》等。

在国家政策指导下，各地结合自身发展需求和基础优势出台了积极推进产业发展的指导意见。江苏省编制形成《江苏省车联网产业发展重点任务分解表（2020 年-2021 年）》，确定共 7 类 65 项任务，明确了推动车联网产业发展的行动指南。天津市发布《天津市车联网（智能网联汽车）产业发展行动计划》，提出加快 LTE 网络升级改造和 5G 规模化部署，提升 LTE-V2X 网络覆盖水平，建设基于 LTE-V2X 无线通信关键技术的车联网服务平台。长沙市发布智能汽车产业“火炬计划”和“头羊计划”，“火炬计划”重点支持智能网联车路协同相关企

业，并给予资金奖励和政策支持，“头羊计划”通过对重点车辆加装车载智能终端产品、城市道路智能化改造，智能网联云平台建设、特定场景智能网联示范应用等，力争到 2022 年，打造智能汽车与智慧交通融合发展的“长沙模式”。广州市发布《广州市加快推进数字新基建发展三年行动计划(2020—2022 年)》，开展车联网直连通信频段试运营，结合 5G 商用，促进 C-V2X 规模部署，推出量产型智能网联汽车，推动建立粤港澳大湾区内部跨市、跨境测试及应用协同机制，建设环大湾区车路协同试验网。北京市发布《北京市智能网联汽车创新发展行动方案(2019 年-2022 年)》，提出部署智能路网试点改造工程，规划建设卫星地面增强站、LTE-V2X、NR-V2X 路侧单元。四川省发布《关于推进智能网联汽车产业发展的通知》，提出推动 LTE 网络的改造和升级，满足车联网的大规模应用。河北、上海、浙江德清、深圳等其他省市地区也发布了相关推进政策。

2.应用示范，助力网联自动驾驶技术与产业成熟

工业和信息化部、公安部、交通运输部等协同推动跨部门合作与部省合作，支持车联网（智能网联汽车）示范区、先导区建设。2019 年 5 月工信部批复支持创建江苏（无锡）车联网先导区。实现规模部署 C-V2X 网络、路侧单元，装配一定规模的车载终端，完成重点区域交通设施车联网功能改造和核心系统能力提升，丰富车联网应用场景。2019 年 12 月工信部批复支持创建天津（西青）国家级车联网先导区。发挥在标准机构、测试环境等方面的优势，积极探索跨行业标

准化工作新模式，规模部署蜂窝车联网 C-V2X 网络，明确车联网通信终端安装方案，明确车联网运营主体和职责，构建开放融合、创新发展的产业生态。2020 年 9 月工信部批复支持创建湖南（长沙）车联网先导区，在重点高速公路、城市道路规模部署蜂窝车联网 C-V2X 网络，结合 5G 和智慧城市建设，完成重点区域交通设施车联网功能改造和核心系统能力提升，带动全路网规模部署。2020 年 9 月，北京亦庄发布全球首个网联云控式高级别自动驾驶示范区，以支持 L4 及以上高级别自动驾驶车辆的规模化运行。计划到 2022 年，将完成“智慧的路、聪明的车、实时的云、可靠的网和精确的图”五大体系建设，打通网联云控式自动驾驶的技术和管理关键环节，形成城市级工程试验平台，最终实现高速公路无人物流、L4 级自动驾驶出租车、智能网联公交车、自主代客泊车等高级别应用场景。

跨行业组织协同开展端到端、规模化测试验证，解决跨行业、跨区域互联互通关键问题。2020 年 10 月，IMT-2020（5G）推进组 C-V2X 工作组、中国智能网联汽车产业创新联盟等联合多方共同组织了 C-V2X“新四跨”暨大规模先导应用示范活动，推进规模化测试、高精度地图和高精度定位合规性测试等工作，吸引了 40 余家国内外整车企业、40 余家终端企业、10 余家芯片模组企业、20 余家信息安全企业、5 家图商及 5 家定位服务提供商等共同参与。在“大规模”测试中，搭建了 180 台真实工作的 C-V2X 车载通信单元和路侧通信单元，开展规模应用环境下的性能和应用功能测试，验证车联网 C-V2X 系统大规模运行能力。在“互联互通”示范中，增加高精度地图

和定位的应用，通过先偏转后加密的方式，探索 C-V2X 面临地图和定位法规问题的技术解决方案。

产业各方加强协同，从封闭到开放、从无人到载人、从城市到高速，测试示范不断推进。截至 2020 年 9 月，我国已有 26 个省市陆续发布了智能网联汽车道路测试实施细则并指定了智能网联汽车道路测试路段，各省市共计发放了约 455 张智能网联汽车道路测试牌照，覆盖整车制造企业、ICT 企业、初创企业、科研机构等。整车制造企业已有 30 多家获得测试牌照，百度、华为、腾讯、阿里巴巴等 ICT 企业在测试牌照数量方面占据了绝对优势。例如，百度 Apollo 测试车队规模已达 500 辆级别，测试里程总计超过 600 万公里，获得测试牌照总计超过 150 张。百度首批自动驾驶出租车自 2019 年 9 月在长沙试运营，已在长沙累计实现了上万次的安全载客出行。2020 年 1 月，延崇高速公路率先开展了高速公路场景 80 公里时速 L4 级自动驾驶和基于蜂窝网络技术车路协同测试，以及自动驾驶队列跟驰演示。

（三）网联自动驾驶协同发展展望

我国应抓住难得的历史发展机遇，坚持网联化协同发展的自动驾驶路径，政府、行业、企业多方协同，积极构建产业发展环境，推进自动驾驶成熟，带动和影响形成全球广泛认同。

积极构建产业发展环境，协同推进自动驾驶成熟。共同出台顶层规划、明确路径选择。利用好国家制造强国建设领导小组车联网产业发展专委会的组织协调作用，加强汽车、信息通信、交通、电子等跨

行业领域之间的协同，共同制定发展路线图，出台顶层规划。**构建智能道路基础设施。**促进信息通信及人工智能技术与道路交通基础设施深度融合，提升道路基础设施智能化水平。在重点区域部署边缘计算能力、部署路侧感知设备等。**构建通信网络基础设施。**协同建设基于LTE-V2X、5G 等无线通信技术的网络基础设施，提升其在主要高速公路和城市主要道路的覆盖水平。完善路侧通信设备或基站的数据接入规范，提高其与道路基础设施、智能管控设施的融合接入能力。**加强法律法规和机制体制建设。**提前谋划，抓紧研究解决制约自动驾驶产业发展的法律法规问题，构建符合我国国情的自动驾驶产业发展政策法规体系，推动适时制修订制约产业发展的政策规定。

发挥信息通信优势，促进产业层面协同。抓好关键核心技术攻关。针对车用计算芯片、车用操作系统、传感器、数据处理等关键领域，加大创新资源投入力度，加快建设以企业为主体、市场为导向、产学研深度融合的技术创新体系。**把握好共性关键技术的协同。**针对单一企业难以解决的行业关键共性技术，要注重技术路径选择、技术部署时间计划安排、技术的标准化和开放接口设计，例如服务于自动驾驶的“人-车-路-云”通信网络体系。**加强汽车、通信、交通、公安、能源等方面标准的融合。**探索跨行业标准合作新模式，就平台接口、应用服务等，共同构建完善车联网（智能网联汽车）产业标准体系。**推动大数据及云平台建设与管理。**促进各类平台互联互通，推动跨平台的信息交互与数据共享，构建数据使用和维护的市场化机制。鼓励构建综合大数据及云平台，支撑车联网应用的规模发展和持续创新。

先行先试，分阶段、分步骤、分场景部署实施。强化部委协同和部省合作，鼓励产业链各方参与，建设模拟仿真、封闭式、半开放的智能网联汽车、车联网应用等示范区和测试基地。统筹发挥好各地车联网示范区的作用，强化跨部门和部省协同，推动各示范区深化合作、数据共享、测试互认，加快推动示范应用。**分阶段推动智能道路基础设施的新建和升级**。从局部试点到全区域覆盖，优先选择有条件的重点城市、高速路段进行道路基础设施改造，再逐步拓展到区域级、城市级范围。从基础信息互联到感知、计算拓展能力延伸，优先推动红绿灯及已有道路交通标志标牌的联网，再逐步推进边缘计算平台、雷达、视觉摄像头等感知、计算路侧设施部署。**分步骤推进网联自动驾驶的测试验证与应用示范**。鼓励产业链各方参与，面向网联自动驾驶应用，建设模拟仿真、封闭式、半开放等车联网示范区或先导区，深化合作、数据共享、测试互认，加快推动示范应用。逐步推动从区域到全域、从子功能到全功能的大数据及云平台建设，促进各类平台互通、信息互联与数据共享，加速基于网联自动驾驶的应用服务体系构建。**分场景开展网联自动驾驶的应用示范，逐步探索建设和运营模式成熟**。推动自动驾驶出租车和自动巴士等应用在特色小镇、产业园区和智慧城市示范性推广和规模化应用，全面提升居民生活和出行体验。在有明确运营主导权的特定场景，如煤矿、港口、码头等，探索全域自动驾驶技术的集成应用。在具有条件的高速公路开展车辆编队行驶等应用试点，服务于干线物流。

附录：缩略语

3GPP	（The 3rd Generation Partnership Project）全球移动通信第三代合作伙伴计划
3D Flash	3D 闪光面阵激光雷达发射技术
AAA	（American Automobile Association）美国汽车协会
ADAS	（Advanced Driver Assistance Systems） 先进辅助驾驶系统
AEB-P	（Automatic Emergency Braking with Pedestrian Detection）对行人的自动紧急刹车
ASIL	（Automotive Safety Integration Level）汽车安全完整性等级
AVP	（Automated Valet Parking）自主代客泊车
CA	（Conditional Automation）有条件的自动驾驶
CPU	（Central Processing Unit）中央处理器
CSI	（Channel State Information）信道状态信息
C-V2X	（Cellular Vehicle to Everything）基于蜂窝网通信的车联网
DSP	（Digital Signal Processing）数字信号处理
E/E	（Electrical / Electronic）电子电气架构
GPU	（Graphics Processing Unit）图形处理器
HA	（High Automation）高度自动驾驶
HARQ	（Hybrid Automatic Repeat reQuest）混合自动重传请求
ITS	（Intelligent Traffic System）智能交通系统
LTE-V2X	（Long Term Evolution Vehicle to Everything）基于 4G 长期演进技术的车联网
MCU	（Micro Controller Unit）微控制器
MEC	（Multi-access Edge Computing）多接入边缘计算
MEMS	（Micro-Electro-Mechanical System）微电子机械系统
NR	（New Radio）新空口
NR-V2X	（New Radio Vehicle to Everything）基于 5G 新空口的车联网
OPA	（Optical Phased Array）光学相控阵
OTA	（Over The Air）空中下载技术

PA	（Partial Automation）部分自动驾驶
PKI	（Public Key Infrastructure）公钥基础设施
RSU	（Road Side Unit）路侧单元
SOTIF	（Safety of The Intended Functionality）预期功能安全标准体系
SIL	（Safety Integration Level）安全完整性等级

联合撰写单位：

国泰君安证券股份有限公司

特别鸣谢的企业单位（排名不分先后）：

中国通信标准化协会

清华大学

吉林大学

同济大学

中国移动通信集团有限公司

中国联合网络通信集团有限公司

中国电信集团有限公司

上海汽车集团股份有限公司

北京汽车集团有限公司

重庆长安汽车股份有限公司

奥迪（中国）企业管理有限公司

福特汽车（中国）有限公司

博世汽车部件（苏州）有限公司

国汽(北京)智能网联汽车研究院有限公司

清华大学苏州汽车研究院

中国汽车工程研究院股份有限公司

上海淞泓智能汽车科技有限公司

大唐高鸿数据网络技术股份有限公司

华为技术有限公司

深圳城市交通规划设计研究中心

启迪云控（北京）科技有限公司

北京千方信息科技集团有限公司

高新兴科技集团股份有限公司

高通无线通信技术（中国）有限公司

中兴通讯股份有限公司

北京星云互联科技有限公司

北京四维图新科技股份有限公司

滴滴出行科技有限公司

中国信息通信研究院

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮政编码：100191

联系电话：010-62300016

传真：010-62304980

网址：www.caict.ac.cn

